



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑩ **Offenlegungsschrift  
DE 101 32 408 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 25 D 17/12**  
C 25 F 7/00

②① Aktenzeichen: 101 32 408.1  
②② Anmeldetag: 4. 7. 2001  
④③ Offenlegungstag: 6. 2. 2003

**DE 101 32 408 A 1**

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦② Erfinder:  
Bingel, Ulrich, Dipl.-Ing., 73457 Essingen, DE;  
Gerth, Christian, Dipl.-Ing., 88709 Meersburg, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE 101 00 297 A1  
GB 5 06 028  
US 15 49 233

Dettner/Elze "Handbuch der Galvanotechnik" Bd.I/1  
Carl Hauser Verlag München 1963, S.499-502;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Elektrode mit veränderbarer Form

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Elektrode mit veränderbarer Form aus elektrisch leitendem Werkstoff zur Erzeugung eines Feldes in einem galvanischen Bad zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen auf Werkstücken. Die Elektrode zum Beschichten oder Abtragen des Werkstückes mit metallischen Niederschlägen besitzt eine Außenoberfläche, die durch eine Verformungsvorrichtung veränderbar ist. Die Elektrode setzt sich aus Segmentelementen zusammen, die scheibenförmig oder stiftförmig ausgebildet sein können. Die Segmentelemente sind dabei gegeneinander verschiebbar ausgeführt und können miteinander durch eine Arretiereinrichtung starr verbunden werden. Die Segmentelemente zur Bildung der Außenoberfläche der Elektrode sind mit ihrem Kopfquerschnitt mosaikartig und/oder parallel nebeneinander angeordnet und in ein- oder mehrdimensionaler Richtung gegeneinander verschiebbar. Die Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung der Elektrode ist mittels unterschiedlich ausgebildeter Einstellhilfen zur Positionierung der Segmentelemente zur Nachbildung der Form des zu bearbeitenden Werkstücks ausgerüstet. Es sind ferner gegeneinander isolierte Segmentelemente in einer Ausführungsform vorgesehen, die neben der Funktion der Beschichtung des zu bearbeitenden Werkstücks auch die Funktion von Messelementen für den Abstand zwischen der Oberfläche des Werkstücks und der Außenoberfläche der erfindungsgemäßen Elektrode übernehmen können.

**DE 101 32 408 A 1**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Elektrode aus elektrisch leitendem Werkstoff zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in einem galvanischen Bad zum Beschichten und Abtragen von metallischen Niederschlägen auf Werkstücken mit den Merkmalen der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschriebenen Gattung.

[0002] In der Oberflächentechnik, z. B. bei der Behandlung der Oberflächen von Werkstücken, werden in der Galvanotechnik Werkstücke in einem galvanischen Bad durch Anlegen eines Gleichstromes elektrochemisch mit metallischen Niederschlägen beschichtet oder es wird auf demselben Wege das Abtragen von metallischen Niederschlägen bewirkt. In der Regel ist dabei das Werkstück die Kathode und es wird der Kathode eine Anode gegenübergestellt. Das galvanische Bad bzw. der Elektrolyt besteht in der Regel aus gelöstem Salz des niederzuschlagenden Metalls und unter Umständen noch weiteren Bestandteilen, wie Säuren, Alkalien, Cyanide, organische Glanzzusätze und dergleichen. Die Anode besteht meist aus dem gleichen Metall, das als Salz in dem Elektrolyten gelöst ist. Die zu bearbeitenden Werkstücke haben meist keine glatte Oberfläche, sondern weisen Erhöhungen, Vertiefungen, Kanten und dergleichen auf. Bei Verwendung einer Standardelektrode im galvanischen Bad, wobei die Standardelektrode entweder eine ebene Fläche oder eine Kreisfläche bildet, entsteht auf dem als Kathode geschalteten Werkstück an der Kathode nur dann ein in der Regel gewünschter gleichmäßiger Schichtauftrag oder ein gleichmäßiges Abtragen von metallischen Niederschlägen auf dem Werkstück, wenn das Werkstück selbst ebenfalls entweder plan oder kreisförmig ausgebildet ist. In der Regel verhält es sich jedoch so, dass die Werkstücke eine äußerst komplexe Oberfläche aufweisen, wie beispielsweise Frästeile, Gehäuse, Drehteile und zahlreiche andere Werkstücke, die Vertiefungen, Kanten, Öffnungen und weitere komplizierte Oberflächenformen aufweisen. Wird zur Beschichtung von Werkstücken mit komplexer Oberfläche eine Standardelektrode mit ebener oder kreisförmiger Oberfläche eingesetzt, so bildet sich an bestimmten Flächen und Punkten des Werkstücks ein ungleichmäßiger Niederschlag von gelösten metallischen Teilen, so dass eine unterschiedlich ausgebildete Schichtdicke des metallischen Niederschlags auf dem Werkstück beispielsweise an Ecken und dergleichen entsteht. Eine Verringerung der Schichtdicke tritt ein, wenn die elektrische Feldstärke zwischen der Anode und dem als Kathode geschalteten Werkstück geringer ist als im Durchschnitt, so dass sich nur ein geringerer Niederschlag an diesen Stellen auf dem Werkstück bilden kann.

[0003] Um einem ungleichmäßigen Schichtauftrag von metallischen Niederschlägen oder einem entsprechenden ungleichmäßigen Abtragen von metallischen Niederschlägen von dem Werkstück zu verhindern, ist es deshalb Stand der Technik, bei dem Beschichten bzw. Abtragen von Niederschlägen auf Werkstücken auf elektrochemischem Wege die Anode ebenfalls in ihrer Form derart umzugestalten, dass sie der Form des zu beschichtenden Werkstückes faktisch als Negativform entspricht. Dadurch wird erreicht, dass zwischen der Form der Oberfläche des Werkstückes und der Außenoberfläche der Anode der jeweils einander gegenüberliegenden Punkte der Oberfläche der Anode und dem als Kathode geschalteten Werkstück gleiche elektrische Feldstärken herrschen und es so zu einem gleichmäßigeren Beschichten bzw. Abtragen von metallischen Niederschlägen auf dem Werkstück kommt.

[0004] Unterlässt man es, die Elektrodenform den unterschiedlichen Formgestalten des Werkstückspektrums anzu-

passen, so entstehen also ungleichmäßig dicke Schichten von metallischen Niederschlägen und damit Ausschussware oder es ist eine Nacharbeit der beschichteten Werkstücke erforderlich, was aus Wirtschaftlichkeits- und Kostengründen nicht toleriert werden kann. Da das zu beschichtende oder abzutragende Bauteilspektrum für viele Unternehmen sehr vielfältig ist, ist es deshalb notwendig für jeden Werkstücktyp einzelne spezielle Elektroden herzustellen. Es entstehen auf diese Weise viele Hunderte Formen von Elektroden, die auch gelagert werden müssen und deshalb weitere Kosten verursachen. Weiterhin ist es erforderlich, vor dem Beschichten der Werkstücke die jeweils passende Elektrode herauszusuchen oder auch erst herzustellen und dann die galvanische Anlage entsprechend umzurüsten. Dadurch entstehen hohe Rüstzeiten und es verlängert sich die Durchlaufzeit für die Werkstücke. Darüber hinaus entstehen auch noch Personalkosten für die Lagerung, das Umrüsten und auch für die Nachbearbeitung von beschichteten Werkstücken, die nicht exakt eine gleichmäßige Beschichtung auf allen Teilen der Oberfläche des Werkstückes besitzen. Ein weiterer Nachteil des Standes der Technik besteht darin, dass bei Verwendung von Standardelektroden, die während des Galvanisierungsprozesses löslich sind, unterschiedliche Abstände zwischen der Elektrode und dem Werkstück entstehen können, wodurch wiederum die Schichtdicke auf dem als Kathode geschalteten Werkstück unterschiedlich anwächst. Ferner ist es bei der nach dem Stand der Technik bekannten Standardelektrode nicht möglich, gewisse örtlich und räumlich bestimmte Flächen auf dem Werkstück von den metallischen Niederschlägen auszusparen, was bei dem einen oder anderen Anwendungsfall bei Werkstücken jedoch erforderlich ist.

[0005] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine preiswerte und für die Massenfertigung geeignete Elektrode zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in einem galvanischen Bad zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen auf Werkstücken zu schaffen, die insbesondere das Erfassen eines möglichst umfangreichen Werkstückspektrums mit unterschiedlich geformten Werkstücken durch eine einzige Elektrode zum Beschichten oder Abtragen zur Erzeugung eines gleichmäßigen Schichtauftrages oder Schichtabtrages über die gesamte verschieden geformte Oberfläche des Werkstücks zu ermöglichen, darüber hinaus das Herabsetzen der Kosten für die Lagerung von für die Bearbeitung von Werkstücken bereitzuhaltenden Elektroden zu ermöglichen und gleichzeitig die Umrüstzeiten für die Elektroden bei Werkstückwechsel mit verschiedenen geformter Oberfläche und die daraus resultierenden zusätzlichen Personalkosten zu senken und schließlich soll es möglich sein, örtlich und räumlich einstellbare definierte Flächen auf der Oberfläche der zu bearbeitenden Werkstücke mit überhaupt keinem oder mit einem von der übrigen Oberfläche des Werkstückes abweichenden Schichtauftrag oder Schichtabtrag zu versehen. Ferner soll ungleicher Schichtauftrag oder Schichtabtrag auf dem Werkstück vermieden werden, der durch die Änderungen des Abstandes durch einen Lösungsprozess der Elektrode während des Galvanisierens zwischen dem Werkstück und der Elektrode entstehen kann.

[0006] Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, dass im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem für jedes Werkstück mit gegenüber dem vorher bearbeiteten Werkstück veränderter Oberfläche eine neue Elektrode kostenaufwendig geschaffen werden, umgerüstet und gelagert werden muss, bei dem Gegenstand der Erfindung mit einer einzigen Elektrode für eine ganze Reihe bzw. ein Spektrum von Werkstücken mit jeweils unterschiedlicher Oberflächenchengestalt die Bearbeitung dieser unterschiedlichen Ober-

flächen vorgenommen werden kann. Dazu ist die erfindungsgemäße Elektrode mit einer dem zu bearbeitenden Werkstück zugewandten Oberfläche ausgestattet, die eine Verformungsvorrichtung besitzt, das heißt, dass die Außenoberfläche der erfindungsgemäßen Elektrode mit einer veränderbaren Gestalt bzw. Form ausgestattet ist. Die Verformungsvorrichtung ist dazu in Segmentelemente der Elektrode unterteilt, weiterhin sind die einzelnen Segmentelemente gegeneinander verschiebbar ausgeführt und drittens sind die Segmentelemente miteinander mittels einer Arretiereinrichtung starr verbindbar. Die Segmentelemente der Elektrode können dabei in unterschiedlicher Form und Gestalt ausgeführt sein. So beispielsweise in Form einer flächig ausgebildeten Scheibe, wobei mehrere Scheiben parallel über- oder nebeneinander setzbar sind. Eine weitere Ausführungsform der Segmentelemente ist in Form eines Stüfens der Elektrode möglich, wobei die Segmentelemente, sowohl diejenigen in Scheibenform wie auch diejenigen in Stüfform zur Bildung der Oberfläche der Elektrode mit ihrem Kopfquerschnitt mosaikartig und/oder parallel nebeneinander angeordnet sind.

[0007] Die Segmentelemente bilden mit ihrer Kopfform und Kopfquerschnitt die Außenoberfläche der erfindungsgemäßen Elektrode und dabei können die Segmentelemente in ihrem Querschnitt beispielsweise in Teilkreisform, in Kreisform, in rechteckiger, quadratischer, dreieckiger, vieleckiger, kreuzartiger Form oder in jeder anderen Querschnittsform ausgebildet sein, die zur Formung der speziellen komplexen Außenoberfläche der Elektrode erforderlich ist, um die Oberflächengestalt des zu bearbeitenden Werkstückes in negativer Form nachzubilden. Die Veränderbarkeit der Außenoberfläche der erfindungsgemäßen Elektrode kommt dadurch zustande, dass die parallel und/oder mosaikartig nebeneinander gelagerten Segmentelemente in eindimensionaler Richtung oder auch in mehrere verschiedene Richtungen verschiebbar ausgeführt sind, so dass sich jede Form der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes nachbilden lässt. Es lässt sich die Dimensionierung der Segmentelemente praktisch in jeder Größenordnung ändern, nämlich beispielsweise der Querschnitt, die Länge und die Form der einzelnen Segmentelemente. Diese können beispielsweise im Millimeter- oder Mehrfachzentimeterbereich liegen oder auch in anderen Größenordnungen, um die Formgestalt der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes mittels der Anode den jeweiligen Anwendungserfordernissen bezüglich der Komplexität des Werkstückes anpassen zu können.

[0008] Wenn die Segmentelemente der erfindungsgemäßen Elektrode derart verschoben sind, dass die Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes im negativen Sinn entspricht, werden die einzelnen Segmentelemente mittels Arretiervorrichtungen fest miteinander verbunden. Dazu sind unterschiedlich ausgeführte Arretiervorrichtungen vorgesehen, die sich der Art des Aufbaus der Verformungsvorrichtung anpassen. Die Elektrode mit veränderbarer Form gemäß der vorliegenden Erfindung erlaubt also mit einer einzigen Elektrode in Folge der Möglichkeit der Veränderbarkeit ihrer Außenoberfläche durch die Verformungsvorrichtung stets eine Gruppe oder auch ein ganzes Spektrum von zu beschichtenden Werkstücken oder auch abzutragenden Werkstücken zu erfassen, d. h., dass für eine größere Anzahl von zu bearbeitenden Werkstücken nur ganz wenige Elektroden mit veränderbarer Außenoberfläche hergestellt werden müssen, um das ganze zu bearbeitende Werkstückspektrum abzudecken. Dadurch werden die Herstellungskosten und die Kosten für die Lagerung geringer und ebenfalls die Kosten für die Umrüstungen, wie später noch näher dargelegt wird. Darüber hinaus verringern sich selbstverständlich auch die

Personalkosten, die aufzuwenden sind, um jeden Fall in ihrer Oberfläche unterschiedlich gestalteter Werkstücke bearbeiten zu können. Durch das Verschieben der einzelnen Segmentelemente kann sowohl in eindimensionaler wie auch in mehrdimensionaler Richtung in weitesten Grenzen eine beliebige Oberfläche erzeugt werden und sich somit die Form der Elektrode in perfekter Weise der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes anpassen.

[0009] Das Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen auf zu bearbeitenden Werkstücken kann dabei auch mittels mehrerer Elektroden gemäß der Erfindung erfolgen. So ist es beispielsweise zweckmäßig, bei einem zu bearbeitenden rotationssymmetrischen Werkstück mehrere gleichartige Elektroden in einem modularartigen Aufbau in Kreisform jeweils mit gleichen gegenseitigem Winkelabstand um das zu bearbeitende Werkstück anzuordnen. Die Verformungsvorrichtung zur Änderung der Außenoberfläche der Elektrode verfügt zur Formänderung über Einstellhilfen zur Positionierung der Segmentelemente zur Nachbildung der Form des zu bearbeitenden Werkstückes. Die Einstellhilfen können darin bestehen, dass die Segmentelemente durch Hydraulikzylinder oder Pneumatikzylinder jeweils gegen die Kraft einer an dem Segmentelement angreifenden Feder verstellbar sind. Eine weitere Form der Einstellhilfe besteht darin, dass die Segmentelemente durch mechanische Abtastung der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes mit jeweils gegen die Kraft einer an dem Segmentelement angreifenden Feder verstellbar ausgeführt sind. Weiterhin können in einer zusätzlichen Ausführung die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung durch den Arm eines Industrieroboters jeweils einzeln gegen die Kraft einer an dem Segmentelement angreifenden Feder verstellbar werden.

[0010] Darüber hinaus lässt sich auch eine Einstellhilfe mittels einer Zahnradmechanik bilden, in der eine Zahnstange mit einem mit der Zahnstange in Eingriff befindlichen Verstellzahnrad zum Verstellen benutzt wird, oder es lässt sich eine Stangenmechanik als Einstellhilfe verwenden, die jeweils aus einer in Verlängerung des Segmentelements angeordneten ersten Betätigungsstange und einer weiteren an dem von dem Segmentelement abgewandten Ende der ersten Stange drehbar angeordneten zweiten Betätigungsstange besteht, wobei die zweite Betätigungsstange mit ihrem freien Ende gelenkig mit einem Verstellrad zur Verschiebung des Segmentelements verbunden ist. Durch Unterstützung der geschilderten unterschiedlichen Einstellhilfen lässt sich der Vorgang der Einstellung bzw. Veränderung der Außenoberfläche der Elektrode nach der Erfindung beschleunigen und damit automatisieren, wie später noch näher erläutert wird, und damit lassen sich sowohl Umrüstzeit für unterschiedlich geformte Oberflächen von Werkstücken sowie daraus entstehende Personalkosten einsparen. Es verkürzt sich damit auch die Durchlaufzeit für die zu bearbeitenden Werkstücke.

[0011] Bei der Bildung der dem zu bearbeitenden Werkstück zugewandten Außenoberfläche der Elektrode durch die Verformungsvorrichtung bzw. genauer durch die Segmentelemente der Elektrode können unterschiedlich ausgeführte Segmentelemente Verwendung finden. So können die Segmentelemente der Elektrode einerseits jeweils durch gegenseitige Kontaktberührung elektrisch leitend miteinander verbunden sein. Andererseits ist es auch möglich, die Segmentelemente der Elektrode jeweils einzeln an ihren Berührungsoberflächen zu den anderen neben ihnen gelagerten Segmentelementen mit elektrisch isolierenden Schichten zu versehen. Bei gegeneinander isolierten Segmentelementen zur Bildung der Außenoberfläche der Elektrode werden die Segmentelemente sowohl in ihrer Funktion als Elektrode, also

als Teil der Elektrode zum Beschichten und Abtragen von Werkstücken mit metallischen Niederschlägen benutzt, als auch in einer zweiten Funktion dafür, dass jedes einzelne gegen die anderen Segmentelemente isolierte Segmentelement gleichzeitig mit seinem Kopfquerschnitt an der Außenoberfläche der Elektrode als Messspitze des durch den Kopfquerschnitt beschriebenen Messortes dient. Das heißt, jedem isolierten Segmentelement kann in seiner Funktion als Messspitze ein eigener Messkreis zugeordnet werden. Mit jedem isolierten Segmentelement, das mit seinem Kopfquerschnitt die Messspitze in einem eigenen Messkreis bildet, kann also der zur Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks bestehende und gegenüberliegende Abstand durch Ermitteln des Spannungsabfalls in dem Elektrolyten, in dem sich Werkstück und Elektrode befinden, gemessen werden und ein entsprechender Istzustand-Signalwert gebildet werden. Damit lässt sich mit jedem einzelnen isolierten Segmentelement mit Messkreis ein Istzustand-Signalwert für die gegenüberliegende Messstelle auf der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkzeugs bilden und die so ermittelten Abstände lassen sich mit Hilfe einer Steuerung und von Einstellhilfen in ein örtliches Verschieben der Segmentelemente umsetzen. Die Segmentelemente werden so lange verschoben, bis der Abstand zwischen der Außenoberfläche der Elektrode bzw. dem Segmentelement und der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks für alle gemessene Istzustands-Signalwerte auf den gleichen Betrag des Spannungsabfalls für alle Messorte gebracht worden ist. Damit wird erreicht, dass die negative Form der Außenoberfläche der Elektrode überall den gleichen Abstand zur Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes aufweist und damit ein gleichmäßiger Auftrag oder Abtrag von metallischen Niederschlägen auf dem zu bearbeitenden Werkstück durchführbar wird.

[0012] Durch die vorstehend geschilderte Ermittlung von Istzustands-Messwerten für alle Abstände von durch die Segmentelemente gebildeten Messorten lässt sich dann zu jedem während der Dauer des Galvanisierprozesses auswählbaren ein oder mehreren Zeitpunkten mittels der jedem Segmentelement zuordenbaren Istzustand-Signalwerten direkt einem als Teil einer CNC-gesteuerten Galvanisieranlage arbeitenden Rechner zur sofortigen Auswertung zuführen, d. h. mit Hilfe der der Elektrode zugeordneten Einstellhilfen lassen sich die Segmentelemente der Elektrode verschieben und damit die Form der Außenoberfläche der Elektrode in automatisierter Weise verändern.

[0013] Bei gewissen Galvanisierprozessen ist auch ein Lösungsprozess des Materials der Elektrode während der Beschichtung vorgesehen. Dadurch kommt es zu Veränderungen der Abstände der Außenoberfläche der Elektrode und der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks, also der Istelektrodenposition der Außenoberfläche der Elektrode gegenüber der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks. Durch die gemäß der Erfindung vorgesehene Verformungsvorrichtung der Elektrode ist es möglich, die dadurch entstehende Abstandsänderung zu korrigieren, indem die einzelnen Segmentelemente durch Messung des geänderten Abstandes wieder in die Sollelektrodenposition für die Außenoberfläche der Elektrode nachgeführt werden.

[0014] In der Praxis treten stets auch Fälle auf, bei denen auf der Oberfläche der zu beschichtenden Werkstücke bestimmte örtliche und räumliche Flächen nicht beschichtet oder im Fall des Abtrags nicht abgetragen werden sollen. Darüber hinaus gibt es gelegentlich örtliche und räumliche Flächen auf der Oberfläche des Werkstückes, die im Unterschied zu den sie umgebenden Oberflächenteilen des Werkstückes nur eine schwächere Beschichtung oder einen geringeren Abtrag des metallischen Niederschlages aufweisen

sollen. Aufgrund der in Segmentelemente unterteilten Verformungsvorrichtung der Elektrode nach der Erfindung kann das dem zu bearbeitenden Werkstück zugewandte Ende und der dem Werkstück zugewandte Kopfquerschnitt bestimmter Segmentelemente mit einem Material zur Isolierung versehen werden und zwar ein derartiges Material mit abschirmenden Eigenschaften, dass die Ausbildung eines elektrischen Feldes von den isolierten Segmentelementen in Richtung des zu bearbeitenden Werkstückes einerseits verhindert oder bei schwächerer Ausbildung der Abschirmwirkung des isolierenden Materials es nur zu einer Schwächung des elektrischen Feldes von der Elektrode in Richtung des zu beschichtenden oder abzutragenden Werkstückes kommt und dadurch nur eine in der Dicke wesentlich verringerte Schicht aufgetragen wird oder eine entsprechend in der Dicke verringerte Schicht abgetragen wird.

[0015] Nachstehend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und von Zeichnungen noch näher erläutert.

[0016] Es zeigen:

[0017] Fig. 1 Eine Prinzip- und Teilschnittdarstellung der Verformungsvorrichtung für die Außenoberfläche der erfindungsgemäßen Elektrode;

[0018] Fig. 2 die Anordnung mehrerer Elektroden nach der Erfindung zur Bearbeitung von rotationssymmetrischen Werkstücken gegenüber der äußeren Oberfläche des Werkstücks;

[0019] Fig. 3a) und Fig. 3b) die Anordnung mehrerer gleichartiger Elektroden nach der Erfindung in einem modulartigen Aufbau in Öffnungen eines symmetrisch ausgeführten Werkstücks;

[0020] Fig. 4 den Aufbau der Elektrode nach der Erfindung aus Segmentelementen in Form eines Stiftes der Elektrode mit einer Arretiervorrichtung aus einem Spannkasten;

[0021] Fig. 5 Ausführungsbeispiele für den Querschnitt von Segmentelementen, die in Form von Stiften ausgeführt sind;

[0022] Fig. 6 eine Einstellhilfe für die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung mit Hilfe von Hydraulikzylindern oder Pneumatikzylindern;

[0023] Fig. 7 eine weitere Einstellhilfe für die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung mittels mechanischer Abtastung der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes;

[0024] Fig. 8 nochmals eine Einstellhilfe für die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung, die mit Hilfe des Arms eines Industrieroboters verstellt werden;

[0025] Fig. 9 eine mechanische Einstellhilfe mittels einer Zahnradmechanik für die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung der Elektrode;

[0026] Fig. 10 eine Einstellhilfe für die Segmentelemente der Elektrode, die mit Hilfe einer Stangenmechanik arbeitet;

[0027] Fig. 11a) und Fig. 11b) in Blockschaltdarstellung ein Steuerungsmodell zur Messung und Einstellung des Abstandes zwischen der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes und der Außenoberfläche der Elektrode nach der Erfindung;

[0028] Fig. 12 in Blockschaltdarstellung und Teilschnittdarstellung ein Steuerungsmodell für die Veränderung der Außenoberfläche der Elektrode mit der Verstellvorrichtung nach der Erfindung mit Hilfe einer CNC-Galvanoeinheit und

[0029] Fig. 13 in Prinzip- und Teilschnittdarstellung die Verformungsvorrichtung mit den Segmentelementen, die teilweise mit einem Material zur Isolierung überzogen sind.

[0030] In den Fig. 1 und 4 ist in Prinzip- und Teilschnittdarstellung anstelle einer starren und für jedes zu bearbeitende Werkstück einzeln anzufertigenden Elektrode eine Verformungsvorrichtung 1 für die Außenoberfläche 2 der er-

findungsgemäßen Elektrode gezeigt, wobei die Verformungsvorrichtung in Segmentelemente 3 unterteilt ist, wobei die Segmentelemente 3 nach Fig. 1 in Form einer Scheibe der Elektrode ausgeführt sind, während die Segmentelemente 4 in den Figuren 4 und 5 in Form eines Stiftes der Elektrode ausgebildet sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, das aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Figuren 1 bis 13 nur die für die Erfindung maßgebenden Bestandteile oder Teilfunktionen dargestellt sind. Nicht dargestellt ist beispielsweise die Gesamtelektrode nach der Erfindung mit ihren übrigen Bestandteilen wie Antriebsmittel, Steuereinheit und Stromversorgung, außerdem wird zur Vereinfachung der Darstellung der Ausführungsformen der Erfindung in der Regel die Darstellung von Segmentelementen in Scheibenform 3 verwendet, jedoch lässt sich die erfindungsgemäße Verformungsvorrichtung der Elektrode auch mit den Segmentelementen 4 in Stiftform ausführen. Nicht dargestellt sind ferner das galvanische Bad zum Beschichten und Abtragen von metallischen Niederschlägen mittels der Elektrode mit Verformungsvorrichtung.

[0031] Die Elektrode selbst setzt sich aus Segmentelementen 3, 4 zusammen, die die Elektrode entweder in Scheibenform mehrfach parallel nebeneinander angeordnet bilden oder sie besteht aus Segmentelementen in Form eines Stiftes nach der Fig. 4, wobei die Segmentelemente in ihrem Querschnitt beispielsweise in Teilkreisform, in Kreisform, in rechteckiger, quadratischer, dreieckiger, vieleckiger, kreuzartiger Form oder in jeder anderen Querschnittsform ausgebildet sein können, die geeignet ist, die Verformung der Außenoberfläche der Elektrode so zu gestalten, dass sie der äußeren Oberfläche des Werkstückes entspricht, dem die Außenoberfläche 2 der Elektrode gegenüberliegt; siehe dazu einige Ausführungsbeispiele der Segmentelemente 4 in Stiftform in Fig. 5, wobei die Außenoberfläche 2 der Elektrode aus den aneinanderliegenden Kopfquerschnitten 5 der Segmentelemente 3 und/oder 4 besteht.

[0032] Sowohl die Segmentelemente 3 in Form einer Scheibe der Elektrode als auch die Segmentelemente 4 in Form eines Stiftes der Elektrode lassen sich gegeneinander verschieben und können nach dem Verschieben miteinander mittels einer Arretiereinrichtung starr verbunden werden. Das Verschieben der Segmentelemente 3, 4 erfolgt so, dass die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes derart nachgebildet wird, dass die Abstände zwischen der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes und der Außenoberfläche der Elektrode mit Segmentelementen gleich groß sind. Dadurch wird erreicht, dass zwischen dem als Kathode geschalteten Werkstück und der als Anode geschalteten erfindungsgemäßen Elektrode ein gleichmäßiges elektrisches Feld erzeugt wird. Denn nur durch eine homogene Feldlinienverteilung zwischen der äußeren und/oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes und der Außenoberfläche der Anode ist ein gleichmäßiges Schichtwachstum oder ein gleichmäßiger Schichtabtrag über die gesamte Werkstückoberfläche gewährleistet. Bei einer ungleichmäßigen Ausbildung des erzeugten elektrischen Feldes zwischen der äußeren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes und der Außenoberfläche der als Anode geschalteten Elektrode entstehen bevorzugte Abscheidezonen für die metallischen Niederschläge auf dem Werkstück und somit ein ungleichmäßiger Schichtaufbau, der sich beispielsweise an Kantenerhöhungen und dergleichen durch eine größere Dicke auszeichnet und in der Regel nicht akzeptiert werden kann. Es ist dann eine Nacharbeitung der Oberfläche erforderlich oder das beschichtete Werkstück bzw. der Abtrag auf dem Werkstück verursacht einen wegzuwerfenden Ausschuss. Die Segmentelemente 3 und 4 der Verformungsvorrichtung können in eindimensionaler Richtung oder auch in

mehrere verschiedene Richtungen verschoben werden, und so besser die komplexen Formen der äußeren oder inneren Oberflächen des Werkstückes nachbilden zu können. Die Segmentelemente 3 und 4 sind zur Bildung der Außenoberfläche der Elektrode mit ihrem Kopfquerschnitt 5 mosaikartig, wie beispielsweise in Fig. 4, oder parallel, wie beispielsweise in der Fig. 1 und wie bereits erwähnt aus Vereinfachungsgründen auch in den übrigen Figuren der Anmeldung parallel nebeneinander angeordnet. Die Segmentelemente 3 und 4 der Elektrode bestehen aus einem elektrisch leitenden Material und sind jeweils durch gegenseitige Kontaktberührung mit Hilfe der später noch geschilderten Arretiereinrichtung elektrisch leitend miteinander verbunden. In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird beispielsweise anhand der Darstellung in Fig. 11 noch dargelegt werden, dass die Segmentelemente der Elektrode jeweils einzeln an ihren Berührungsflächen zu anderen Segmentelementen auch elektrisch isolierende Schichten besitzen können.

[0033] Die Dimensionierung der Segmentelemente 3 und 4 bezüglich ihrer Größe, wie beispielsweise des Querschnitts, der Länge und der Form, ist praktisch an jede in der Praxis vorkommende Anforderung anpassbar. So lassen sich die Querschnitte je nach den Anforderungen der Praxis variieren, wie beispielhaft aus der Fig. 5 hervorgeht, darüber hinaus kann der Querschnitt der Segmentelemente 3 und 4 beispielsweise im Millimeter-Bereich oder Mehrfachzentimeter-Bereich liegen. Ferner kann durch die Mehrfachanwendung von eindimensionaler oder mehrdimensionaler Verschiebung der Segmentelemente 3 und 4 gegeneinander auch die Komplexität der Formgestaltung der äußeren und/oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes jederzeit entsprochen werden. Die mit einer Verformungsvorrichtung versehenen Elektroden nach der Erfindung lassen sich auf verschiedene Weise dem zu bearbeitenden Werkstück zuordnen. So kann die Elektrode mit ihrer dem Werkstück zugewandten Außenoberfläche 2 gegenüber der äußeren Oberfläche 6 des Werkstückes angeordnet sein. Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass bei komplizierten zu bearbeitenden Werkstücken Öffnungen und dergleichen in dem Werkstück bestehen, die ebenfalls mit einer gleichmäßigen Schicht überzogen werden sollen. Zu diesem Zweck werden die Elektrode mit ihrer Verformungsvorrichtung in die Öffnungen des Werkstückes eingeführt, so dass dann die Außenoberfläche 2 der Elektrode den inneren Oberflächen 7 des Werkstückes in den Öffnungen gegenüberliegt. Siehe dazu beispielsweise die Lage der Elektroden mit Verformungsvorrichtung bei dem Beispiel nach Fig. 2 für das Gegenüberliegen der Außenoberfläche der Elektrode zu der äußeren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes und ebenfalls beispielhaft in Fig. 3a und 3b für das Gegenüberliegen der Außenoberfläche 2 der Elektrode gegenüber der inneren Oberfläche 7 des zu bearbeitenden Werkstückes.

[0034] Aus den Ausführungsbeispielen der Verformungsvorrichtung der Elektrode nach den Figuren 2 und 3a bzw. 3b geht auch hervor, dass zur Erzeugung einer gleichmäßigen elektrischen Feldverteilung bei zu bearbeitenden Werkstücken mehrere Elektroden zur Bearbeitung dem jeweiligen Werkstück zugeordnet werden können. Ist das zu bearbeitende Werkstück rotationssymmetrisch ausgebildet, so lassen sich zur Beschichtung bzw. zum Abtragen von metallischen Niederschlägen mehrere gleichartige Elektroden und damit Verformungsvorrichtungen in einem modulartigen Aufbau mit jeweils gleichem gegenseitigen Winkelabstand kreisförmig dem zu bearbeitenden Werkstück zuordnen, wie dies bei der Fig. 2 für die Beschichtung der äußeren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes gezeigt ist und bei den Figuren 3a und 3b für die Beschichtung bzw. das Abtragen der inneren Oberflächen 7 des zu bearbeitenden

Werkstücks gezeigt wird. Die Verwendung gleichartiger Elektroden in einem modulartigen Aufbau erleichtert außerdem die Herstellung von Elektroden mit einer Verformungsvorrichtung, da nur mehrere gleichartige Elektroden modulartig um das rotationssymmetrisch ausgebildete Werkstück angeordnet werden müssen.

[0035] Mit den vorstehend geschilderten Merkmalen der Elektrode mit veränderbarer Form bzw. der Ausbildung ihrer Verformungsvorrichtung aus parallel und/oder mosaikartig nebeneinander angeordneten Segmentelementen, die die unterschiedlichsten Formen einnehmen können und ein- oder mehrdimensional verschiebbar angeordnet sind, können praktisch beliebig geformte Oberflächen des zu bearbeitenden Werkstückes nachgebildet werden, so dass es mit einer einzigen Elektrode möglich wird, ein größeres Spektrum von Werkstücken mit unterschiedlich geformten Oberflächen so zu bearbeiten, dass beim Beschichten und Abtragen von metallischen Niederschlägen ein gleichmäßiger Schichtauftrag oder ein gleichmäßiger Schichtabtrag über die gesamte Spannweite der verschieden geformten Oberflächen der Werkstücke möglich wird, da durch die erfindungsgemäß ausgestaltete Verformungsvorrichtung der Elektrode eine homogene Feldlinienverteilung über die Oberflächengeometrie der zu beschichtenden oder abzutragenden Werkstücke gewährleistet wird.

[0036] Eine Elektrode mit der veränderbaren Form der erfindungsgemäßen Verformungsvorrichtung ermöglicht es auch, erhebliche Automatisierungspotentiale bei der Rüstarbeit zu erzielen. Dabei sind pneumatische, hydraulische, elektrische, mechanische und von Industrierobotern unterstützte Lösungen möglich. Die Verformungsvorrichtung gemäß der Erfindung weist deshalb Einstellhilfen zur Positionierung der Segmentelemente 3, 4 zur Nachbildung der Form des zu bearbeitenden Werkstückes auf. Neben den nachstehend aufgezählten unterschiedlich ausgestalteten Einstellhilfen sind selbstverständlich alle Einstellhilfen bei der erfindungsgemäßen Elektrode mit Verformungsvorrichtung anwendbar, die es ermöglichen die Segmentelemente zu verschieben und nach der abgeschlossenen Verschiebung und Positionierung mittels einer Arretiereinrichtung starr zu verbinden. Bei einer Ausführung der Segmentelemente in Scheibenform oder in Stiftform ist es selbstverständlich auch möglich, nicht nur gleichartige, also beispielsweise mit dem gleichen Querschnitt versehene, Anodensegmente parallel und/oder mosaikartig nebeneinander anzuordnen, sondern es könnten auch unterschiedlich geformte Anodensegmente, beispielsweise mit unterschiedlichen Querschnitten, Längen oder Formen, parallel und/oder mosaikartig nebeneinander angeordnet werden.

[0037] Nachfolgend werden einige Ausführungsbeispiele an Einstellhilfen zum Verschieben der Segmentelemente und für Arretierungseinrichtungen zur starren Verbindung der Segmentelemente miteinander geschildert, wobei die Verformungsvorrichtung gemäß der Erfindung selbstverständlich auch dann für eine Elektrode angewandt werden kann, wenn nachstehend nicht geschilderte Einstellhilfen oder Arretierungsvorrichtungen verwendet werden, wenn gesichert ist, dass mit der Einstellhilfe und der Arretierungsvorrichtung jeweils die Segmentelemente verschiebbar und miteinander starr verbindbar ausgeführt sind.

[0038] Ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Einstellhilfe für die Segmentelemente der Verformungsvorrichtung der Elektrode ist aus Fig. 6 ersichtlich, in dem die Segmentelemente 3 durch Hydraulik- oder Pneumatikzylinder 8 gegen die Kraft einer an dem Segmentelement 3 angreifenden Feder 9 jeweils verstellbar gemäß dem Profil der äußeren oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes verschoben werden und dann anschließend durch eine Arre-

tiereinrichtung starr miteinander verbunden werden. Die Arretiereinrichtung nach der Fig. 1, 2, 3a, 3b, 6, 7, 12 und 13 sind hier jeweils mit der gleichen Arretiervorrichtung ausgestattet. Diese Arretiervorrichtung besteht aus einer Gewindestange 10, auf der Spannmuttern 11 sitzen, wobei die Gewindestange 10 durch Öffnungen 12 geführt ist, diese Öffnungen 12 befinden sich in dem in Form einer Scheibe ausgeführten Segmentelement 3 der Elektrode. Die Öffnungen 12 sind bei dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 1 und folgende als Langloch ausgeführt, wobei ein entsprechendes Maß des Langloches die zulässige Verschiebung der Segmentelemente gegeneinander ermöglicht. Die Verstellung der Segmentelemente 3, 4 erfolgt durch eine Steuerung 13, die hier jedoch nicht näher ausgeführt ist. Zum Beispiel ist diese Steuerung 13 Bestandteil eines Umwandlungssystems 35, das Rechner signale in die jeweils gemäß der Art der verwendeten Einstellhilfe für Segmentelemente erforderliche Form in Befehle umwandelt, hier also die Befehle für die Hydraulik- oder Pneumatikzylinder 8. Nach dem Verschieben und Positionieren der Segmentelemente 3, 4 wird mit Hilfe der Gewindestange 10 und der Spannmuttern 11 durch Anziehen eine starre Verbindung zwischen den Segmentelementen der Verformungsvorrichtung hergestellt.

[0039] Es wird darauf hingewiesen, dass sowohl bei dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 6 wie auch bei den nachfolgenden weiteren Einstellhilfen, sowie auch bei den übrigen Darstellungen in Fig. 1 bis 13, es sich bei der Darstellung der Außenoberfläche 2 der Elektrode nach der Erfindung und der Darstellung der äußeren oder inneren Oberflächen des zu bearbeitenden Werkstückes um stark vereinfachte Formen der tatsächlich vorhandenen und zu beschichtenden Oberflächen handelt, diese Darstellung soll sicherstellen, dass ein schneller Überblick über die unterschiedlichen Ausführungsformen möglich wird ohne durch die Kompliziertheit der Details der Oberflächengestaltung von den Funktionen der Erfindung abzulenken.

[0040] Ein weiteres zweites Beispiel für eine Einstellhilfe ist in Fig. 7 dargestellt. Die Einstellhilfe besteht darin, dass die Segmentelemente der Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung durch mechanisches Abtasten der äußeren oder inneren Oberfläche des Werkstückes 14 mit jeweils gegen die Kraft einer an den Segmentelementen 3, 4 angreifenden Feder 9 verstellbar ausgeführt sind. Zu diesem Zweck wird die Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung in einem ersten Schritt im nicht fixierten Zustand der Segmentelemente 3, 4 auf die äußere oder innere Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes 14 verschoben und in einem zweiten Schritt dort angedrückt, so dass durch die mechanische Abtastung der Oberfläche des Werkstückes die Segmente 3, 4 sich an die Oberflächenstruktur in Form eines Negativabdrucks angleichen. Anschließend werden in einem dritten Schritt mit der Arretiereinrichtung, die aus der in den Öffnungen 12 geführten Gewindestange 10 und den Spannmuttern 11 besteht, durch Fixieren und Festsetzen der Segmentelemente 3, 4 eine starre Verbindung zwischen den Segmentelementen geschaffen. In einem vierten Schritt wird die Elektrode dann wieder in die Ausgangsposition, nämlich in die Sollposition der Außenoberfläche der Elektrode verschoben, so dass nunmehr ein gleichmäßiges elektrisches Feld zwischen der Oberfläche des Werkstückes und der Außenoberfläche der Elektrode für eine homogene Feldlinienverteilung erzielt ist. Die an den Segmentelementen 3, 4 angreifende Feder 9 ist wiederum als Druckfeder ausgeführt, die sich gegen einen Gehäuseboden 15 abstützt. Die Öffnungen 12 in der Fig. 7 dargestellten Segmenten sind wiederum als Langloch ausgeführt. Bei geeigneter Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes stellt die mechanische Abtastung der Oberfläche durch Verschieben der Segment-



elemente gegen einen Federmechanismus eine besonders einfache Ausführung der Verformungsvorrichtung dar.

[0041] Ein drittes Ausführungsbeispiel für eine Einstellhilfe ist in der Fig. 8 geoffenbart. Dort wird mit Hilfe eines Roboterarmes 16 ein oder mehrere Segmentelemente 3, 4 der Verformungsvorrichtung der Elektrode gegen die Kraft einer am Segmentelement angreifenden Feder 9 verschoben und positioniert, wobei die Auslenkung der Segmentelemente 3, 4 durch entsprechende Befehle an den Roboterarm erzeugt wird, und die Signale zur Verstellung der Segmente bzw. des Roboterarmes beispielsweise von einem Rechner kommen, in den die Sollelektrodenposition für die Segmentelemente 3, 4 für die Außenoberfläche 2 der Elektrode eingegeben worden ist. Nach Abschluss der Verschiebung der Segmentelemente 3, 4 in die Sollelektrodenposition für die Außenoberfläche wird eine Verriegelung der Segmentelemente vorgenommen, wobei die Art und Weise der Verriegelung hier nicht näher dargestellt ist.

[0042] Ein viertes Beispiel für eine Einstellhilfe ist der Fig. 9 zu entnehmen. Die Einstellhilfe für die Segmentelemente 3, 4 besteht dabei aus einer Zahnradmechanik, die jeweils aus einer in Verlängerung des Segmentelements 3 angeordneten Zahnstange 17 besteht, die Zahnstange 17 befindet sich wiederum im Eingriff mit einem Verstellzahnrad 18. Nach Verschieben und Positionierung des Segmentelements 3 wird eine Arretiervorrichtung in Form der Blockierung des Verstellzahnades 12 verwendet. Aus Fig. 10 ist noch eine 5. Ausführungsform für eine Einstellhilfe zu ersehen, die aus einer Stangenmechanik besteht. Diese Stangenmechanik setzt sich jeweils aus einer in der Verlängerung des Segmentelements 3, 4 angeordneten ersten Betätigungsstange 19, sowie einer weiteren an dem von dem Segmentelement 3 abgewandten Ende der ersten Stange 19 drehbar befestigten zweiten Betätigungsstange 20 zusammen, wobei die zweite Betätigungsstange 20 an ihrem freien Ende gelenkig mit einem Verstellrad 21 zur Verschiebung des Segmentelements 3 verbunden ist. Die Arretiervorrichtung zu der Stangenmechanik besteht nach dem mechanischen Verstellen und Positionieren der einzelnen Segmentelemente 3 aus einer Blockierung des Verstellrades 21.

[0043] Schließlich wurde in Fig. 4 noch ein weiteres Beispiel für eine Arretiereinrichtung gegeben. In der Fig. 4 sind die Segmentelemente 4 in Form eines Stiftes zur Bildung der Außenoberfläche 2 der Elektrode mit ihrem Kopfquerschnitt 5 mosaikartig nebeneinander angeordnet. Zur Bildung der Außenoberfläche 2 der Elektrode mit ihrem Kopfquerschnitt 5 ist eine Arretiervorrichtung aus einem Spannkasten 22 zur Befestigung der Segmentelemente 4 und einem oder mehreren Spannbacken 23 vorgesehen. Die Spannbacken 23 sind in dem Spannkasten 22 geführt, so dass nach dem Verschieben und Positionieren der Segmentelemente 4 durch Einspannen der Segmentelemente 4 zwischen den Spannbacken 23 eine starre Verbindung zwischen den Segmentelementen 4 herbeigeführt werden kann. Aus der Fig. 4 ist außerdem entnehmbar, dass auch komplexe Formen einer Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes wie hier beispielsweise eines Gehäuses 24 mit Hilfe der in Stiftform ausgeführten Segmentelemente 4 besonders gut im Negativ nachgebildet werden kann, wobei es sich in der Fig. 4 nur um eine Teilschnitt- und Prinzipdarstellung handelt, in der nicht die Feinheiten der in Stiftform ausgebildeten Segmentelemente zur Nachbildung der Oberfläche des Gehäuses zeichnerisch herausgearbeitet und dargestellt sind.

[0044] Bei der bisherigen Schilderung der Verformungsvorrichtung, die sich aus den Segmentelementen 3, 4 zusammensetzt, wurde stets davon ausgegangen, dass die Segmentelemente aus einem elektrisch leitenden Werkstoff be-

stehen und sich durch gegenseitige Kontaktberührung elektrisch leitend miteinander verbinden, wenn nach dem Verschieben der Segmentelemente die Arretierung der Segmentelemente durchgeführt worden ist. Nach einem weiteren erfindungswesentlichen Ausführungsbeispiel des vorliegenden Anmeldungsgegenstandes werden jedoch die Segmentelemente 3, 4 jeweils einzeln und ihren Berührungsflächen zu den anderen Segmentelementen mit elektrischen Isolierschichten 25 ausgeführt, das heißt, dass jedes einzelne Segmentelement 3, 4 an allen Berührungsflächen mit den neben ihm liegenden Segmentelementen eine Isolierung besitzt und deshalb nicht leitend verbunden sind. Um die Funktion der Elektrode zur Erzeugung eines elektrischen Feldes zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen auf dem zu bearbeitenden Werkstück zu ermöglichen, sind alle seitlich isolierten Segmentelemente einzeln mit der Stromversorgung zur Erzeugung des elektrischen Feldes verbunden, was hier jedoch nicht in Fig. 11a und 11b dargestellt ist, und insofern bilden sie zur Erzeugung des elektrischen Feldes zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen elektrisch wieder eine einzige Außenoberfläche der Elektrode. Diese Isolierschichten 25 sind in einer Prinzipdarstellung der Fig. 11a und 11b zu entnehmen, dort werden die Segmentelemente 3, 4 symbolisch mit jeweils seitlich zu den anderen Segmentelementen hin liegenden Isolierschichten 25 dargestellt.

[0045] Die nicht isolierten Kopfquerschnitte 5 der einzelnen Segmentelemente 3, 4 liegen als Bestandteil der Außenoberfläche der Elektrode der äußeren oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks 14 gegenüber. Schließt man nun an jedes einzelne Segmentelement 3, 4 ein Messinstrument 26 und einen Stromkreis 27 zur Spannungsversorgung zwischen dem Rückteil des Segmentelements 3, 4 und dem zu bearbeitenden Werkstück an, so erhält man für jedes einzelne Segmentelement 3, 4 einen gesonderte Messkreis. Überlagert man dem Gleichstrom zur Bildung des elektrischen Feldes zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen z. B. einen Wechselstrom, so stellt der Kopfquerschnitt 5 an der Außenoberfläche 2 der Elektrode eine Messspitze dar, wobei der Kopfquerschnitt 5 die Größe des Messortes definiert. Jedem Segmentelement 3, 4 ist also in seiner Funktion als Messspitze ein eigener Messkreis zugeordnet. Die Segmentelemente 3, 4 der Elektrode dienen also sowohl als Teil der Elektrode zum Beschichten und Abtragen von Werkstücken mit metallischen Niederschlägen und zum anderen auch dient jedes einzelne Segmentelement gleichzeitig mit seinem Kopfquerschnitt 5 an der Außenoberfläche 2 der Elektrode als Messspitze des durch den Kopfquerschnitt 5 beschriebenen Messortes.

[0046] Mit Hilfe des dem Gleichstrom zum Beschichten überlagerten Wechselstromes lässt sich mit jedem in einem eigenen Messkreis befindlichen Kopfquerschnitt 5 eines Segmentelements 3, 4 der zur Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes gegenüberliegende und bestehende Abstand durch Ermittlung des Spannungsabfalls in dem Elektrolyten durch das Messinstrument messen und damit ein entsprechender Istzustandssignalwert feststellen. Das heißt, der Abstand jedes einzelnen Messortes, der durch den Kopfquerschnitt 5 eines Segmentelements 3, 4 als Bestandteil der Außenoberfläche der Elektrode gebildet wird, liegt direkt einer Fläche der äußeren oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks 14 gegenüber. Für jeden der so ermittelten Spannungsabfälle zwischen dem Messort und dem gegenüberliegenden Werkstück liegt damit der Entfernungsbstand zwischen den beiden Elektroden fest. Führt man nun von sämtlichen Messorten alle von den Segmentelementen 3, 4 gemessenen Istzustandssignalwerte einer Auswertung in einem Rechner zu, so lässt sich mit Hilfe einer Steuerung

und von Einstellhilfen ein örtliches Verschieben der Segmentelemente 3, 4 derart durchführen, bis ein Abgleich aller gemessenen Istzustandswerte auf jeweils den gleichen Betrag des Spannungsabfalls für alle Messorte erfolgt ist und damit alle Segmentelemente 3, 4 der dem Werkstück zugewandten Außenoberfläche 2 der Elektrode jeweils den gleichen Abstand zu der Oberfläche des Werkstücks aufweisen. Somit ist klar, dass mit Hilfe von mit seitlichen Isolierschichten überzogenen Segmentelementen 3, 4 und deren Anschluss jeweils an einen eigenen Messkreis die Entfernung zum zu bearbeitenden Werkstück ermittelt werden kann und durch entsprechende Verschiebung der Segmentelemente jeweils der gleiche Abstand zu dem Werkstück hergestellt werden kann, damit eine gleichmäßige Verteilung des elektrischen Feldes bzw. eine gleichmäßige Schichtauftragung oder Schichtabtragung erreicht wird.

[0047] Aus der Fig. 11a und 11b ist der Abgleich des chemischen Potentials durch eine Abstandsänderung zeichnerisch in einer Schnitt- und Prinzipdarstellung geoffenbart. In der Fig. 11a ist in vereinfachter Darstellung der Ausgangszustand der Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung der Elektrode mit Segmentelementen 3, 4 dargestellt, die an ihren seitlichen Berührungsflächen zu den anderen Segmentelementen elektrische Isolierschichten 25 aufweisen. Die jeweiligen Kopfquerschnitte 5 der Segmentelemente 3, 4 liegen dem Werkstück bzw. der äußeren oder inneren Oberfläche des Werkstücks gegenüber. Nach Messung des Spannungsabfalls in dem Elektrolyten zwischen dem Werkstück und der Elektrode wird mit Hilfe des Spannungsabgleichs auf jeweils gleich Spannungsbeträge zwischen beiden Elektroden durch Verschieben der Segmentelemente 3, 4 der Sollzustand der Lage der Segmentelemente der Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung derart hergestellt, dass die Abstände aller durch den Kopfquerschnitt 5 definierten Messorte zu der jeweils gegenüberliegenden Fläche des Werkstückes gleich groß sind. Es ist offensichtlich, dass auch weitaus kompliziertere Oberflächen des Werkstückes 14 mit Hilfe entsprechend gestalteter und dimensionierter Segmentelemente 3 und 4 sich mit dieser Mess- und Einstellmethode für die Außenoberfläche der Verformungsvorrichtung einstellen lassen.

[0048] Es ist klar, dass zu jedem beliebigen Zeitpunkt während des Prozesses des Beschichtens oder Abtragens von metallischen Niederschlägen auf dem Werkstück eine Messung des Abstandes zwischen der Außenoberfläche der Verstellvorrichtung und der äußeren oder inneren Oberfläche des Werkstücks durchgeführt werden kann. Diese Fähigkeit der Verformungsvorrichtung lässt sich dazu benutzen, dass während des Prozesses des Beschichtens und Abtragens die Außenoberfläche 2 der Elektrode bei Änderung des Abstandes zwischen Werkstück 14 und Außenoberfläche 2 der Elektrode durch die Verformungsvorrichtung zur Nachstellung der Außenoberfläche 2 der Elektrode in die Sollelektrodenposition als zusätzliche Korrektur ausgeführt wird. Die vorstehend geschilderte zusätzliche Korrekturmöglichkeit der Elektrode mit veränderbarer Form durch Nachstellen der Segmentelemente während des Galvanisierungsprozesses ist dann von Vorteil, wenn während des Galvanisierungsprozesses ein Teil der Elektrode in Lösung geht und es so zu Abstandsänderungen zwischen der Außenoberfläche 2 der Elektrode und dem zu bearbeitenden Werkstück 14 kommt. Durch Nachstellen der einzelnen Segmentelemente 3, 4 können diese Abstandsänderungen ausgeglichen werden und damit einer durch Elektrodenabnutzung entstehenden Abweichung des Schichtaufbaus entgegengewirkt werden.

[0049] In Fig. 12 ist in Teilschnitt-, Prinzip- und gleichzeitig auch als Blockschaltbild Darstellung die Steuerung der

Außenoberfläche 2 der Verformungsvorrichtung der erfindungsgemäßen Elektrode als Teil einer CNC-Galvanoeinheit übersichtsmäßig dargestellt. In einen Reaktionsraum 28 wird mit Hilfe der Pumpe 29 wahlweise entsprechend den erforderlichen Verfahrensschritten ein Elektrolytbad ein- oder abgepumpt. In dem Reaktionsraum befindet sich das hier nicht dargestellte Werkstück und in Prinzipdarstellung die dem Werkstück zugewandte Außenoberfläche 2 der Verformungsvorrichtung der erfindungsgemäßen Elektrode. Mit der Pumpe 29 wird über den als Volumenstrom 30 bezeichneten Block eine turbulente oder eine lamellare Strömung für den Elektrolyten erzeugt. Der Block 31 betrifft Betriebsparameter, er regelt in der Peripherie z. B. die Beschichtungszeit, die Temperatur, die Konzentration des Elektrolyten, den pH-Wert und dergleichen. In dem Block Peripherie 32 werden die Vorbehandlungsschritte für das zu behandelnde Werkstück durchgeführt, wie beispielsweise Entfernung des Bohrwassers, des Öls oder zum Beispiel Ätzen als Vorbehandlung für nachfolgend am Werkstück durchzuführende Schritte oder auch Reinigen des Werkstücks mittels Säure. Im Zentralrechner 33 werden die Stammdaten wie Stückzahl, Betriebsnormen, Toleranzen, CAD-Daten, Zeichnungen und dergleichen eingegeben, die teilweise auch dem Simulationstool 34 zugeführt werden, das wiederum den Volumenstrom 30 und die Betriebsparameter 31 steuert.

[0050] Die Steuerung der Verformung der Außenoberfläche 2 bzw. genauer die Verschiebung der Segmentelemente 3, 4 der Elektrode kann z. B. dadurch erfolgen, dass der Zentralrechner 33 Signale an ein Umwandlungssystem 35 sendet, wobei diese Signale durch eine Eingabe in den Rechner bekannt sind. Eine andere Form der Signalübermittlung durch den Rechner kann dadurch geschehen, dass zunächst, wie bereits in den Fig. 11a und 11b und der dazugehörigen Beschreibung geschildert, der Abstand zwischen dem hier in dem Reaktionsraum 28 nicht dargestellten Werkstück und der Außenoberfläche 2 der Verformungsvorrichtung gemessen wird und diese Daten dann an den Zentralrechner gegeben werden. Zu diesem Zweck sind die bereits in der Beschreibung zur Fig. 11 geschilderten Messkreise für jedes einzelne Segmentelement vorgesehen, die hier mit dem Block 36 bezeichnet werden und für die gemessenen Abstände als Istzustandssignalwerte an den Rechner gegeben werden. Der Rechner gibt dann die erforderlichen Signale an das Umwandlungssystem 35. Das Umwandlungssystem 35 hat die Aufgabe, die Rechnersignale in die jeweils gemäß der Art der verwendeten Einstellhilfe für die Segmentelemente 3, 4 erforderliche Form und Befehle umzuwandeln und dann direkt die Verformungsvorrichtung bzw. die Steuerung zur Verschiebung der Segmentelemente zu speisen, die Teil des Umwandlungssystems 35 sind und hier nicht näher dargestellt sind. Zu jedem während der Dauer des Galvanisierungsprozesses beliebig auswählbaren Zeitpunkt, das heißt ein- oder mehrmals während des Galvanisierungsprozesses, werden die mit diesen Messkreisen erzielten Istzustandssignalwerte direkt einem als Teil einer CNC-gesteuerten Galvanisierungsanlage fungierenden Zentralrechner 33 zur sofortigen Auswertung zugeführt. Der Zentralrechner gibt die ausgewerteten Istzustandssignalwerte dann an das Umwandlungssystem 35 weiter, das dann wiederum die Rechnersignale in die geeignete Form zur Steuerung der unterschiedlich ausgeführten Einstellhilfen umformt, wie beispielsweise in Befehle zur Betätigung von Hydraulik- oder Pneumatikzylindern, zur Auslenkung eines Roboterarms oder zum Verschieben der gesamten Verformungsvorrichtung der Elektrode zur mechanischen Abtastung der Oberfläche des hier nicht dargestellten zu bearbeitenden Werkstücks, um so einen negativen Abdruck auf der Außenober-



fläche der Verformungsvorrichtung zu erzeugen.

[0051] In der Fig. 13 ist ein Ausführungsbeispiel für eine Ausführung der Verformungsvorrichtung dargestellt, die eine selektive Beschichtung der äußeren oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks mit metallischen Niederschlägen erlaubt. Dazu ist ein Teil der Segmentelemente 3, 4 auf dem dem zu bearbeitenden Werkstück 14 zugewandten Ende 38 und auf dem dem Werkstück 14 zugewandten Kopfquerschnitt 5 mit einem Material 37 zur Isolierung versehen. Die Segmentelemente 3, 4 werden je nach den Anforderungen auf der Oberfläche des zu beschichtenden oder abzutragenden Werkstücks, also je nach den örtlichen oder räumlichen Erfordernissen des Anwendungsfalls angeordnet. Das Material zur Isolierung der Segmentelemente 3, 4 besteht aus einem Material mit abschirmender Eigenschaft für die Ausbildung des elektrischen Feldes zwischen dem als Kathode geschalteten Werkstück 14 und der als Anode geschalteten Elektrode nach der Erfindung. Das Material 37 zur Isolierung kann einmal so ausgewählt werden, dass es zu keiner Ausbildung eines elektrischen Feldes von den isolierten Segmentelementen 3, 4 in Richtung des zu bearbeitenden Werkstückes 14 kommt. Andererseits ist es möglich, die abschirmende Wirkung des Materials 37 zur Isolierung so zu wählen, dass es nur zu einer Schwächung des elektrischen Feldes durch ein mit verringerter Abschirmwirkung ausgebildetes Material 37 zur Isolierung kommt. In dem ersten Fall wird der dem isolierten Segmentelement gegenüberliegende Teil der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes gar nicht beschichtet oder es kommt bei Verwendung bzw. Isolierung der dem Werkstück 14 zugewandten Endes 38 der Segmentelemente 3, 4 mit einem Material 37 zur Isolierung mit verringerter Abschirmwirkung lediglich zu einer Beschichtung 39, die bedeutend geringer ist, nämlich entsprechend der verringerten Abschirmwirkung des Materials 37, als die Beschichtung der äußeren oder inneren Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks durch nicht isolierte Enden bzw. Kopfquerschnitte der Segmentelemente.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Verformungsvorrichtung
- 2 Außenoberfläche Elektrode
- 3 Segmentelemente Scheibenform
- 4 Segmentelemente Stiftform
- 5 Kopfquerschnitt
- 6 äußere Oberflächen Werkstück
- 7 innere Oberflächen Werkstück
- 8 Hydraulik- oder Pneumatikzylinder
- 9 Feder
- 10 Gewindestange
- 11 Spannmuttern
- 12 Öffnungen
- 13 Steuerung
- 14 Werkstück
- 15 Gehäuse
- 16 Industrieroboterarm
- 17 Zahnstange
- 18 Verstellzahnrad
- 19 erste Betätigungsstange
- 20 zweite Betätigungsstange
- 21 Verstellrad
- 22 Spannkasten
- 23 Spannbacken
- 24 Gehäuse
- 25 elektrische Isolierschichten
- 26 Messinstrument
- 27 Stromkreis

- 28 Reaktionsraum
- 29 Pumpe
- 30 Volumenstrom
- 31 Betriebsparameter
- 32 Peripherie
- 33 Zentralrechner
- 34 Simulationstool
- 35 Umwandlungssystem
- 36 Messkreise
- 37 Material zur Isolierung
- 38 dem Werkstück zugewandtes Ende
- 39 Beschichtung

#### Patentansprüche

1. Elektrode aus elektrisch leitendem Werkstoff zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in einem galvanischen Bad zum Beschichten oder Abtragen von metallischen Niederschlägen auf Werkstücken, wobei die Elektrode eine an die Form der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes angepasste eigene Formgestalt besitzt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrode für die dem Werkstück (14) zugewandte Außenoberfläche (2) mit einer Verformungsvorrichtung (1) ausgestattet ist.
2. Elektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verformungsvorrichtung sich aus Segmentelementen (3, 4) der Elektrode zusammensetzt, dass die Segmentelemente gegeneinander verschiebbar ausgeführt sind und dass die Segmentelemente miteinander mittels einer Arretiereinrichtung starr verbindbar ausgeführt sind.
3. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3) in Form einer Scheibe der Elektrode ausgebildet sind.
4. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (4) in Form eines Stiftes der Elektrode ausgebildet sind.
5. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) in ihrem Querschnitt in Teilkreisform, in Kreisform, in rechteckiger, quadratischer, dreieckiger, vieleckiger, kreuzartiger Form oder in jeder anderen Querschnittsform ausgebildet sind, die zur Formung der Außenoberfläche der Elektrode erforderlich ist.
6. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente in eindimensionaler Richtung verschiebbar ausgeführt sind.
7. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) in mehrere verschiedene Richtungen verschiebbar ausgeführt sind.
8. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) zur Bildung der Außenoberfläche (2) der Elektrode mit ihrem Kopfquerschnitt (5), mosaikartig und/oder parallel nebeneinander angeordnet sind.
9. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Dimensionierung der Größe (des Querschnitts, der Länge und der Form) der einzelnen Segmentelemente den jeweiligen Anwendungserfordernissen bezüglich der Komplexität der Formgestalt des Werkstückes anpassbar ist.
10. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Elek-

trode mit ihrer dem Werkstück zugewandten Außenoberfläche (2) gegenüber den äußeren Oberflächen (6) des Werkstückes (14) angeordnet ist.

11. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrode in Öffnungen des Werkstückes eingeführt wird, und dass damit die Außenoberfläche (2) der Elektrode den inneren Oberflächen (7) des Werkstückes (14) in den Öffnungen gegenüber liegt.

12. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass dem Werkstück (14) mehrere Elektroden zur Bearbeitung zugeordnet sind.

13. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 und 11, dadurch gekennzeichnet, dass einem rotationssymmetrischen Werkstück zur Bearbeitung mehrere gleichartige Elektroden in einem modulartigen Aufbau mit jeweils gleichem gegenseitigen Winkelabstand zugeordnet sind.

14. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Verformungsvorrichtung (1) der Elektrode Einstellhilfen zur Positionierung der Segmentelemente (3, 4) zur Nachbildung der Form des zu bearbeitenden Werkstückes zugeordnet sind.

15. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellhilfe darin besteht, dass die Segmentelemente (3, 4) der Verformungsvorrichtung durch Hydraulikzylinder oder Pneumatikzylinder jeweils gegen die Kraft einer an dem Segmentelement angreifenden Feder (9) verstellbar ausgeführt sind.

16. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellhilfe darin besteht, dass die Segmentelemente (3, 4) der Verformungsvorrichtung durch mechanische Abtastung der Oberfläche (6, 7) des zu bearbeitenden Werkstückes (14) mit jeweils gegen die Kraft einer an dem Segmentelement angreifenden Feder (9) verstellbar ausgeführt sind.

17. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellhilfe darin besteht, dass die Segmentelemente (3, 4) der Verformungsvorrichtung durch den Arm (16) eines Industrieroboters jeweils gegen die Kraft einer an dem Segmentelement (3, 4) angreifenden Feder (9) verstellbar ausgeführt sind.

18. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die an den Segmentelementen (3, 4) angreifende Feder (9) als Druckfeder ausgebildet ist.

19. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellhilfe aus einer Zahnradmechanik mit jeweils aus einer in Verlängerung des Segmentelements (3, 4) angeordneten Zahnstange (17) und einem mit der Zahnstange (17) sich in Eingriff befindenden Verstellzahnrad (18) besteht.

20. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellhilfe aus einer Stangenmechanik mit jeweils aus einer in Verlängerung des Segmentelements (3, 4) angeordneten ersten Betätigungsstange (19) sowie einer weiteren an dem von dem Segmentelement (3, 4) abgewandten Ende der ersten Stange (19) drehbar befestigten zweiten Betätigungsstange (20) besteht, wobei die zweite Betätigungsstange mit ihrem freien Ende gelenkig mit einem Verstellrad (21) zur Verschiebung des

Segmentelements (3, 4) verbunden ist.

21. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Arretiervorrichtung aus Gewindestange (10), den auf der Gewindestange befestigten Spannmutter (11) und in den Segmentelementen der Elektrode für die Gewindestange vorgesehene Öffnungen (12) besteht.

22. Elektrode nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungen (12) als Langlöcher ausgebildet sind.

23. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Arretiervorrichtung aus einem Spannkasten (22) zur Befestigung der Segmentelemente (4) und einem oder mehreren Spannbacken (13) besteht, die in dem Spannkasten geführt sind.

24. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Arretiervorrichtung jeweils aus einer Verriegelung für jedes Segmentelement (3, 4) besteht.

25. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Arretiervorrichtung nach dem mechanischen Verstellen und Positionieren der einzelnen Segmentelemente aus einer Blockierung des Verstellzahnades (18) besteht.

26. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Arretiervorrichtung nach dem mechanischen Verstellen und Positionieren der einzelnen Segmentelemente (3, 4) aus einer Blockierung des Verstellrades (21) besteht.

27. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) der Elektrode jeweils durch gegenseitige Kontaktberührung elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

28. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) der Elektrode jeweils einzeln an ihren seitlichen Berührungsflächen zu den anderen Segmentelementen elektrische Isolierschichten (25) besitzen.

29. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, 28 dadurch gekennzeichnet, dass die Segmentelemente (3, 4) der Elektrode sowohl als Teil der Elektrode zum Beschichten und Abtragen von Werkstücken mit metallischen Niederschlägen dienen, als auch, dass jedes einzelne Segmentelement (3, 4) gleichzeitig mit seinem Kopfquerschnitt (5) an der Außenoberfläche (2) der Elektrode als Messspitze des durch den Kopfquerschnitt beschriebenen Messortes dient.

30. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, 28, 29, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Segmentelement (3, 4) in seiner Funktion als Messspitze ein eigener Messkreis zuordenbar ist.

31. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, 28-30, dadurch gekennzeichnet, dass mit jedem in einem eigenen Messkreis befindlichen Kopfquerschnitt (5) eines Segmentelements (3, 4), wobei die Kopfquerschnitte Teil der Außenoberfläche (2) der Elektrode sind, der zur Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes gegenüberliegende und bestehende Abstand durch Ermittlung des Spannungsabfalls in dem Elektrolyten gemessen und dass ein entsprechender Istzustand-Signalwert gebildet wird.

32. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, 28 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass von sämtlichen Messorten alle von den Segmentelementen (3, 4) gemessenen Istzustand-Signalwerte einer

Auswertung in einem Rechner zugeführt werden und dass dazu mit Hilfe einer Steuerung und von Einstellhilfen ein örtliches Verschieben der Segmentelemente (3, 4) bis zum Abgleich aller gemessenen Istzustands-Signalwerte auf einen gleichen Betrag des Spannungsabfalls für alle Messorte erfolgt.

33. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, 28 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem während der Dauer des Galvanisierprozesses auswählbaren ein oder mehreren Zeitpunkten mittels der jedem Segmentelement (3, 4) zuordenbaren Messkreise (36) und die mit diesen Messkreisen erzielten Istzustand-Signalwerte direkt einem als Teil einer "CNC"-gesteuerten Galvanisieranlage fungierenden Rechner (33) zur sofortigen Auswertung zugeführt werden und dass der Zentralrechner (33) die ausgewerteten Signale an ein Umwandlungssystem (35) weitergibt, das die Rechnersignale in die jeweils gemäss der Art der verwendeten Einstellhilfe für die Segmentelemente (3, 4) erforderliche Form und Befehle umwandelt.

34. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass während des Prozesses des Beschichtens und Abtragens von metallischen Niederschlägen die Istelektrodenposition der Außenoberfläche (2) der Elektrode bei Änderung des Abstandes zwischen Werkstück (14) und Außenoberfläche (2) der Elektrode durch die Verformungsvorrichtung (1) in die Sollelektrodenposition für die Außenoberfläche der Elektrode nachstellbar ausgeführt ist.

35. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der Segmentelemente (3, 4), die je nach den örtlichen und räumlichen Erfordernissen des Anwendungsfalls angeordnet sind, auf dem dem zu bearbeitenden Werkstück zugewandten Ende (38) und auf dem dem Werkstück (14) zugewandten Kopfquerschnitt (5) mit einem Material (37) zur Isolierung versehen ist und dass die Isolierung der Segmentelemente aus einem derartigen Material mit abschirmenden Eigenschaften besteht, dass die Ausbildung eines elektrischen Feldes von den isolierten Segmentelementen (3, 4) in Richtung des zu bearbeitenden Werkstückes (14) verhindert wird oder dass es zu einer Schwächung des elektrischen Feldes durch ein mit verringerter Abschirmwirkung ausgebildetem Material zu Isolierung kommt.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

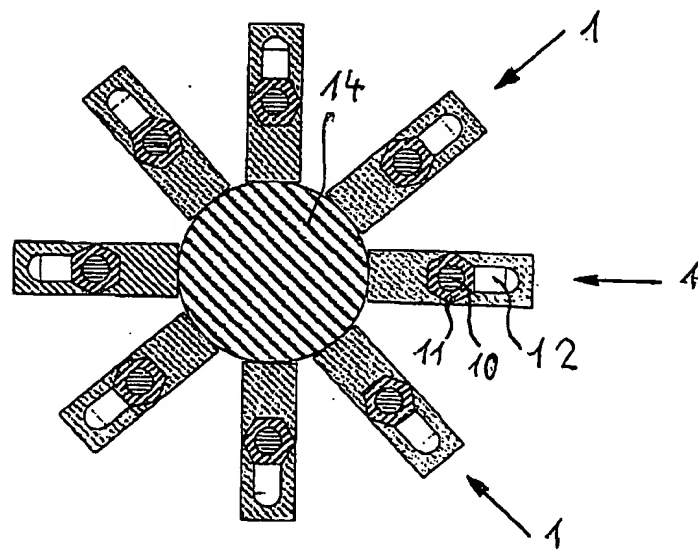
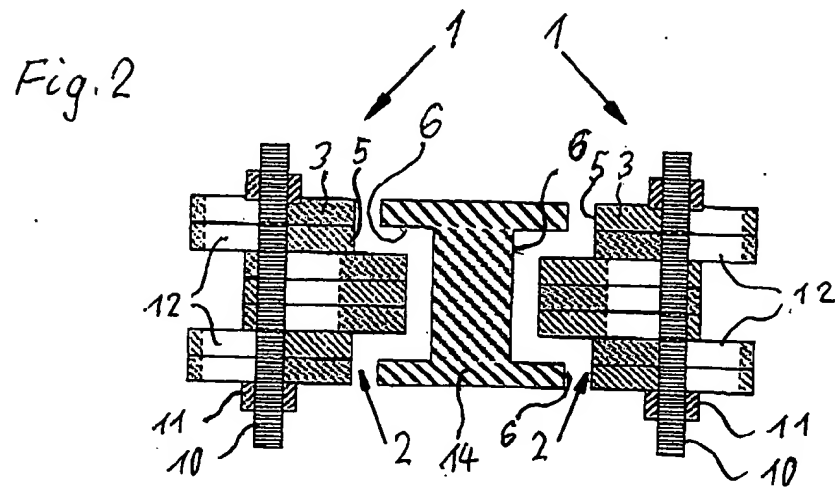
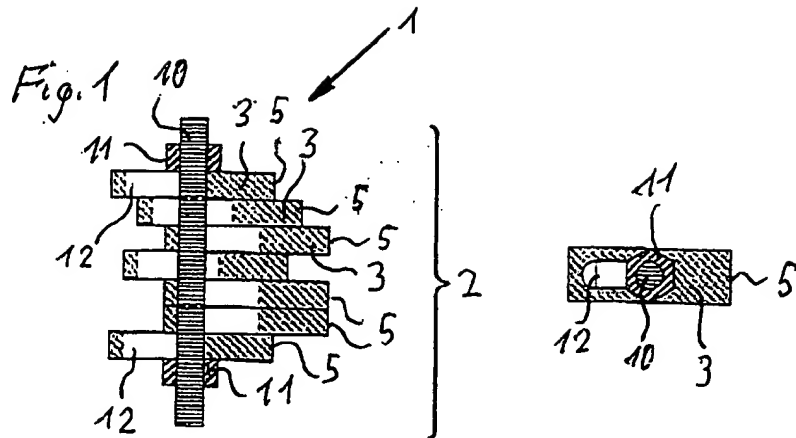


Fig. 3a

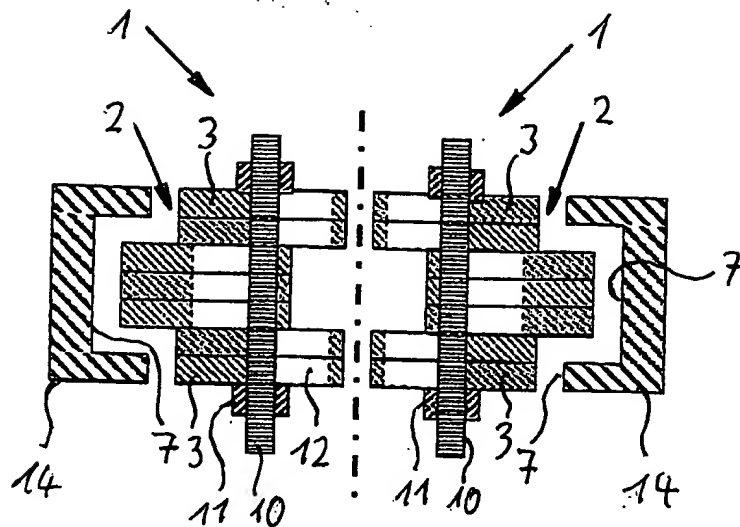


Fig. 3b

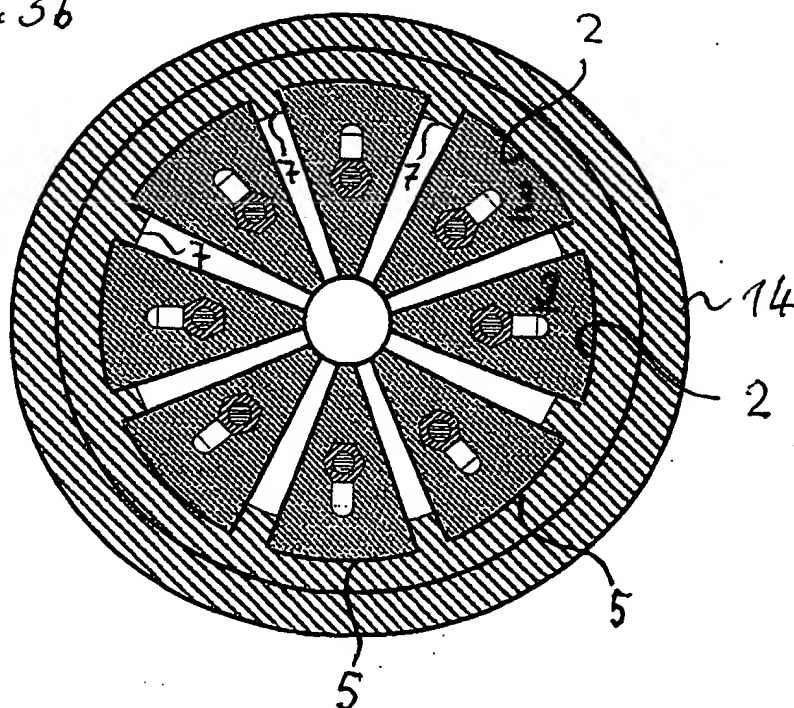


Fig. 4

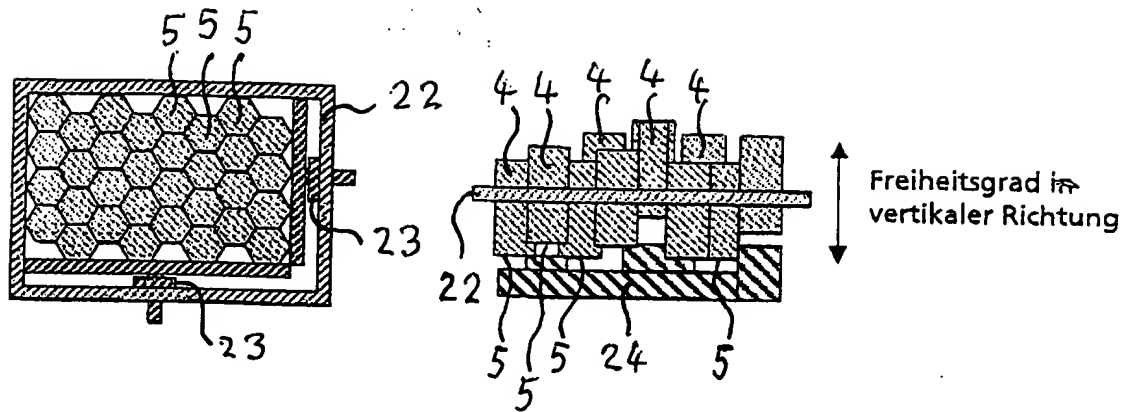


Fig. 5

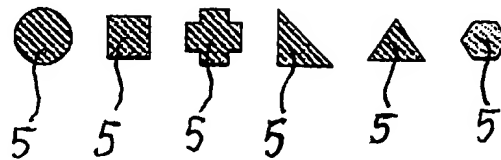


Fig. 6

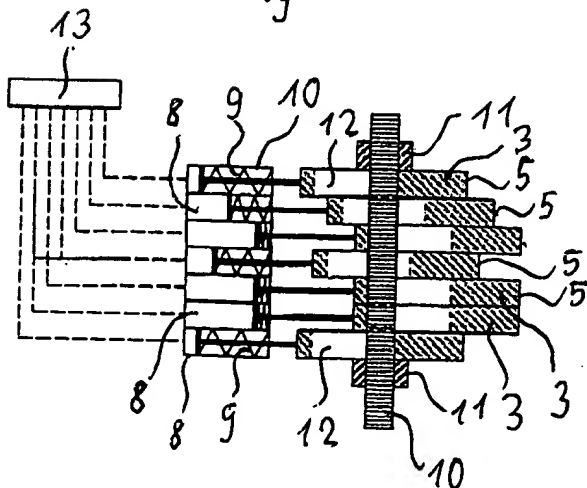




Fig. 7

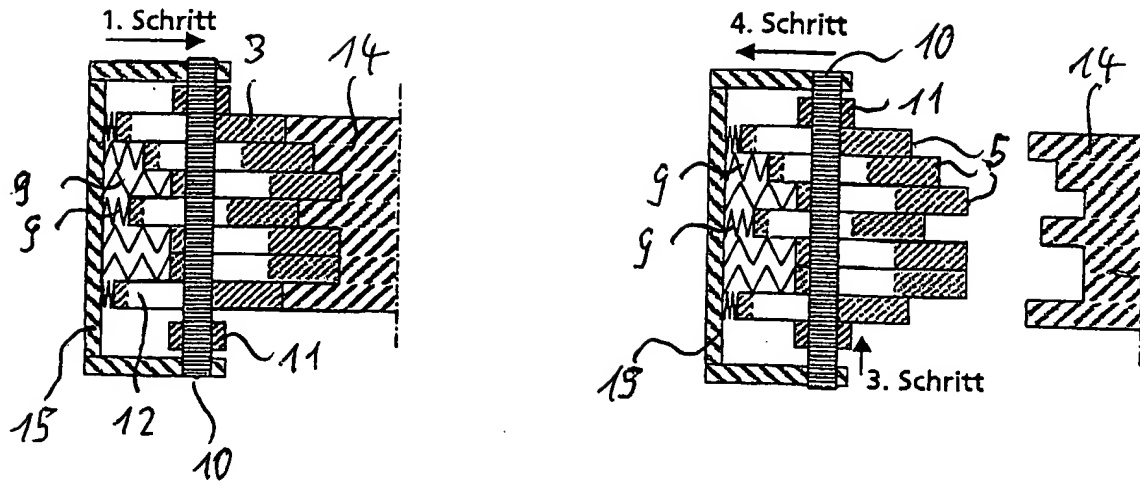


Fig. 8

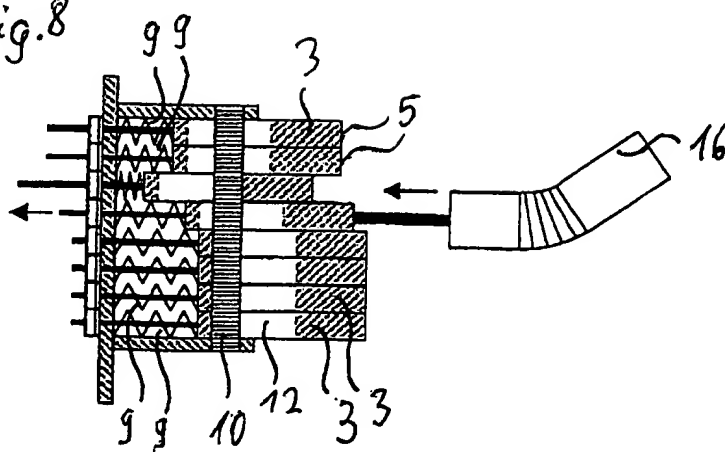


Fig. 9

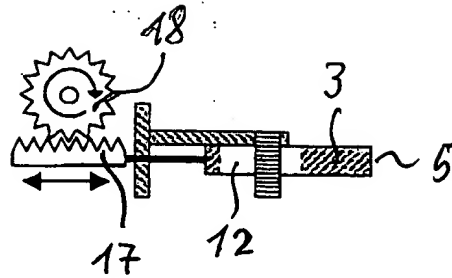


Fig. 10

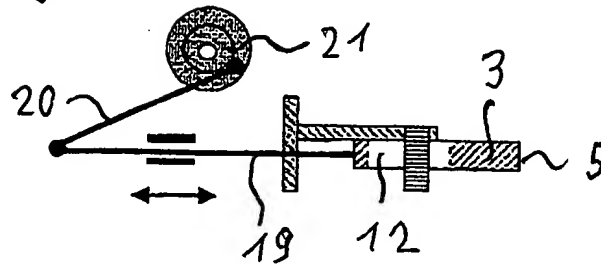


Fig. 13

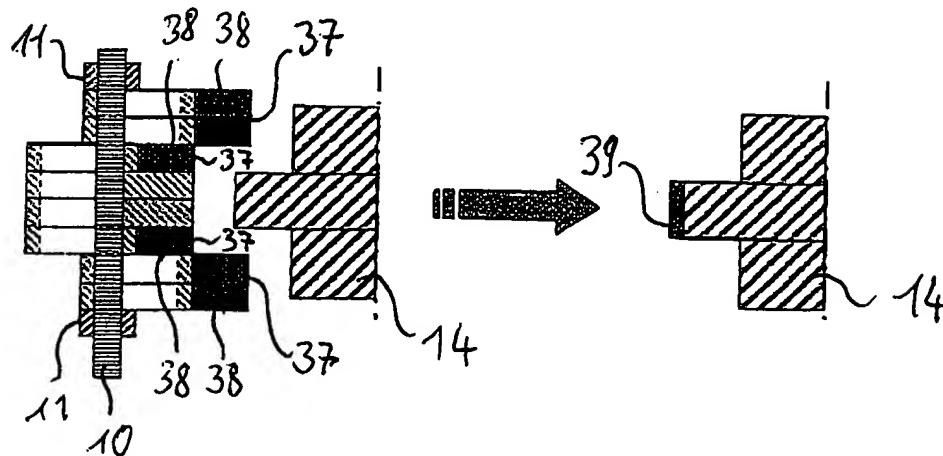


Fig. 11a

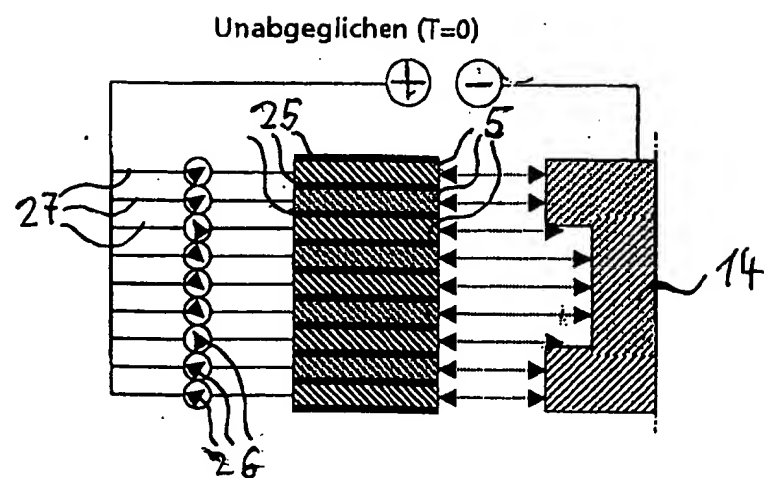
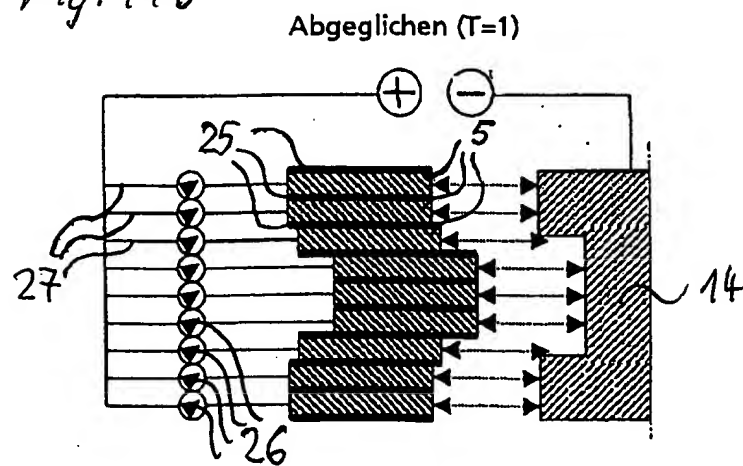
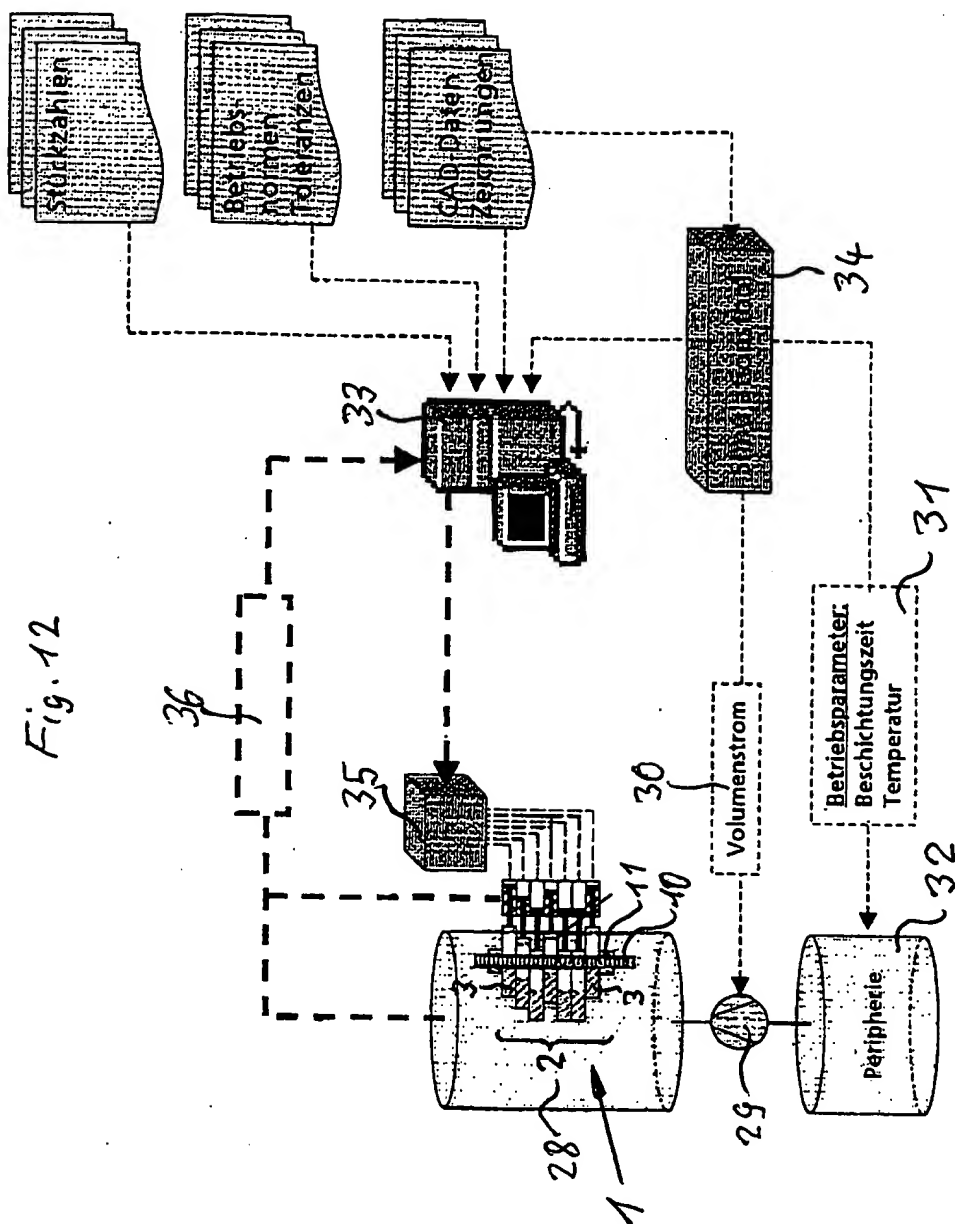


Fig. 116





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**